

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580216

研究課題名(和文) 模擬木を用いた樹冠遮断メカニズムの解明に関する研究

研究課題名(英文) Experimental study on the mechanism of canopy interception using artificial Christmas trees

研究代表者

村上 茂樹 (MURAKAMI, Shigeki)

独立行政法人森林総合研究所・気象環境研究領域・十日町試験地長

研究者番号：80353879

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：模擬木(プラスチック製のクリスマスツリー、樹高65cm～240cm)を屋外のトレイに設置して降雨時の蒸発(樹冠遮断)を計測した。降雨に占める樹冠遮断の割合は1割強から約2割で、実際の森林と同程度となった。間伐を行うと樹冠遮断は減少するが、増加する場合もあることが分かった。降雨中、降雨一時休止中、降雨後の樹冠遮断を算出したところ、降雨中の樹冠遮断が大部分を占めていた。この結果は雨滴が樹冠に衝突して飛沫が蒸発するとの説を支持するものである。

研究成果の概要(英文)：Canopy interception (evaporation at the time of rainfall) was measured at an outdoor site using artificial Christmas trees (65 cm to 240 cm in heights) placed on trays. The ratio of canopy interception to rainfall was within the range of a little more than 10% to some 20% that was comparable to that in actual forest stands. Thinning reduces canopy interception; however, we found a case that thinning increases canopy interception. Three canopy interception elements, evaporation during rainfall, evaporation during storm break time, and evaporation after the cessation of rainfall, were measured, and it turned out that evaporation during rainfall accounted for most part of canopy interception. The results support a hypothesis that splash droplets produced by raindrops hitting canopy evaporate.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：樹冠遮断 林分構造 飛沫蒸発 降雨中蒸発 間伐 模擬木 クリスマスツリー

1. 研究開始当初の背景

(1) 降雨の際に雨水の一部が森林から蒸発する現象を樹冠遮断と呼ぶ。樹冠遮断は、世界的には年間降雨量の約 10~50%、日本では約 20%と報告されている。樹冠遮断は、(A)降雨中の濡れた樹冠や幹からの蒸発、(B)降雨後に枝葉や幹に付着した雨水が乾燥する過程での蒸発、の二つからなる。一般に、樹冠遮断に占める蒸発の割合は(B)より(A)が大きい。気象学の理論によれば、(A)の降雨中蒸発は樹高が高い森林ほど多くなるはずである。ところが、観測では理論とは逆に樹高の低い森林が樹高の高い森林より(A)による蒸発が大きいとされる結果も得られている。また、世界各地における樹冠遮断観測のレビューにおいても(A)の蒸発は樹高との相関がなく、理論と矛盾する。

(2) 降雨中の樹冠遮断は降雨強度に比例して増加することが指摘されており、10 mm/時を超える蒸発も観測されている。蒸発現象は降雨強度とほとんど無関係であるため、この現象は既知の理論では説明できない。これを説明するために雨滴が樹冠に衝突してできる飛沫が蒸発するメカニズムが提唱された(飛沫蒸発説)。この説では降雨強度に比例して蒸発が起きることが定性的に説明可能であり、(1)で述べた矛盾も解決できる可能性がある。

2. 研究の目的

(1) 樹高や葉量などの林分構造を容易に変えることができる模擬木(市販のプラスチック製クリスマスツリー)を用いて自然降雨の下で樹冠遮断実験を行い、樹高と葉量(林分密度)を大きく変化させて樹冠遮断と樹高・葉量の関係を明らかにする。

(2) 樹冠上で降雨中の微気象観測を行い、熱収支的な方法で降雨中蒸発を推定する(推定値)。この方法で算出された蒸発は、樹冠表面からの蒸発と考えられる。本研究で林内外の雨量の差から得られる蒸発(実測値)は、樹冠表面からの蒸発と飛沫蒸発の和と考えられることから、実測値と推定値の差が飛沫蒸発量になる。この手法により、飛沫蒸発量を推定して飛沫蒸発説の検証を行う。さらに、これと(1)の手法を組み合わせ、樹高、葉量などの林分構造と飛沫蒸発量との関係を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) ポリ塩化ビニールと針金を材料とした樹高 65cm(小)及び 150cm(大)の 2 種類の模擬木を用いて実験した。模擬木小は内寸 177.6cm 角の 2 つのトレイ(トレイ 1、トレイ 2)に、模擬木大は内寸 360cm 角の 1 つのトレイ(トレイ 3)にそれぞれ設置し、林分を作った。模擬木は必要に応じて棒を継ぎ足し、樹高を高くした。これら 3 つの林分の樹

表1 模擬木の林分状況

	トレイ1	トレイ2	トレイ3
模擬木	小	小	大
樹高(cm)	65	110	240
実験A			
2012年5月24日~8月23日			
林分密度(本/トレイ)	41	41	41
樹冠閉鎖度(%)	96	96	94
PAI プラントエアインデックス	5.1	5.1	5.9
実験B			
2012年8月24日~10月30日			
林分密度(本/トレイ)	41	25	25
樹冠閉鎖度(%)	96	58	79
PAI プラントエアインデックス	5.1	1.8	2.9

高、林分密度、樹冠閉鎖度、PAI(プラントエアインデックス)を表1のように設定して、2種類の実験を行った(実験A、B)。

(2) 雨が止んでから 6 時間以上経過しても降雨が観測されない場合、その降雨を一降雨と定義した。この 6 時間以上の間に樹体に付着している雨水は完全に蒸発してなくなると仮定することで、林外雨  $P_G$ (トレイの外の降雨)と林内雨  $P_N$ (トレイの中の降雨)の差のみから、一降雨毎の樹冠遮断を算出した。

(3) トレイ 1 とトレイ 3 において代表木をそれぞれ 1 本ずつ選び、これらの重量を連続測定することにより、任意の時刻において樹体に付着している雨水の量  $S$  を算出した。 $S$  と  $P_G$ 、 $P_N$  を組み合わせることで、降雨中と降雨後の任意の時間における樹冠遮断を算出した(時間分解能 5 分)。具体的には 3.(2) で定義した一降雨を、「降雨中<sub>1</sub>」、「降雨が一時的に休止している時間(20 分以上で 6 時間を超えない時間)」、及び「降雨終了後(6 時間以上降雨が観測されない時間)」の 3 つの時間帯に分離して、それぞれの時間帯における樹冠遮断(それぞれ  $I_R$ 、 $I_{Sbt}$ 、 $I_{Aft}$  で表す)を算出した。この 3 者のうち、 $I_R$  と  $I_{Sbt}$  は、一降雨中に複数回存在することがある。なお、既存の研究では、降雨中と降雨が一時的に休止している時間を併せたものを「降雨中」と定義し、その樹冠遮断は  $I_R$  と  $I_{Sbt}$  の和であるとしている(1.(1)の記述も同様)。以下ではこれら二者を区別して扱う。

4. 研究成果

(1) 実験 A と実験 B について、一降雨毎の林外雨と樹冠遮断の関係を図 1、図 2 にそれぞれ示した。図 1 の矢印は強風のため正常に計測できなかったデータを表し、解析の対象から除外した。トレイ 1、2、3 において降雨に占める樹冠遮断の割合は、実験 A では 13.8%、17.6%、20.7%、実験 B では 13.3%、22.0%、14.1% となった。実際の森林と同様に降雨(林外雨)と樹冠遮断は比例関係にあり、降雨に占める樹冠遮断の割合も実際の森林と同程度の値となった。このことは、模擬木と実際の森林で樹冠遮断のメカニズムが同じである可能性を示しており、本実験手法は樹冠遮断メカニズムの研究に有効であると考えられる。

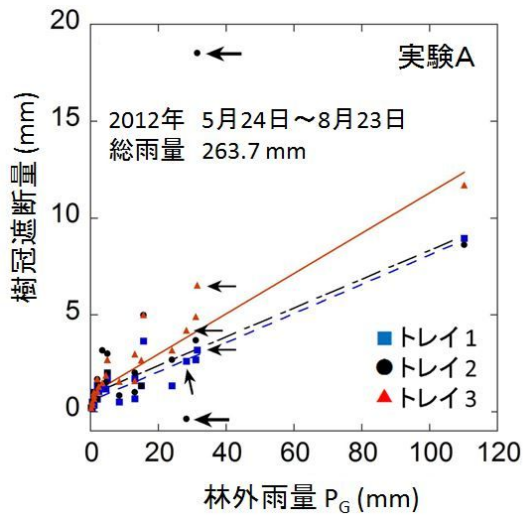


図1 実験A 林外雨量と樹冠遮断量

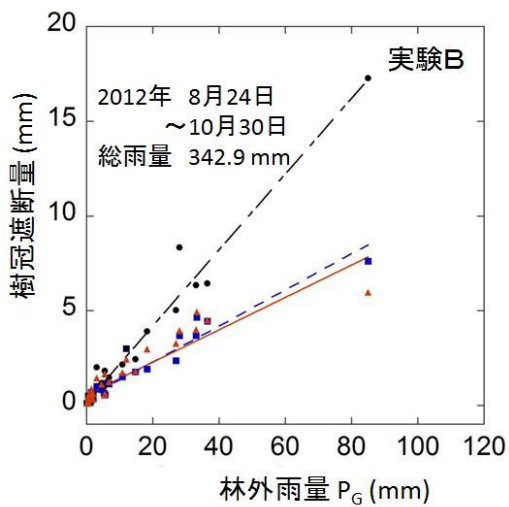


図2 実験B 林外雨量と樹冠遮断量

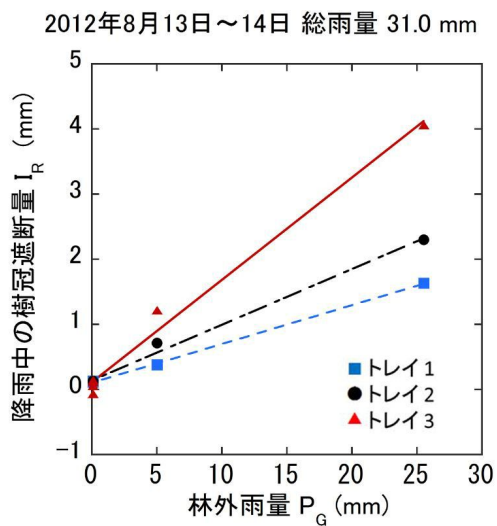


図3 林外雨量と降雨中の樹冠遮断量

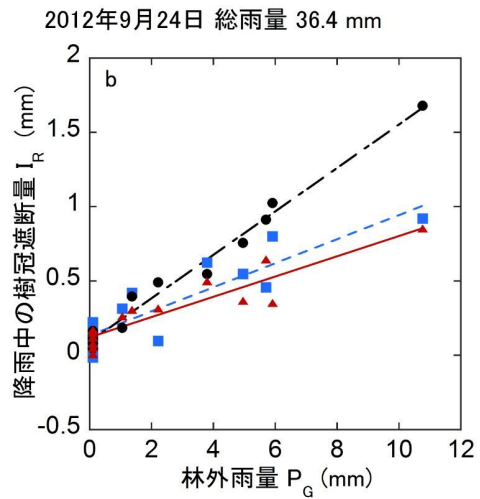


図4 林外雨量と降雨中の樹冠遮断量

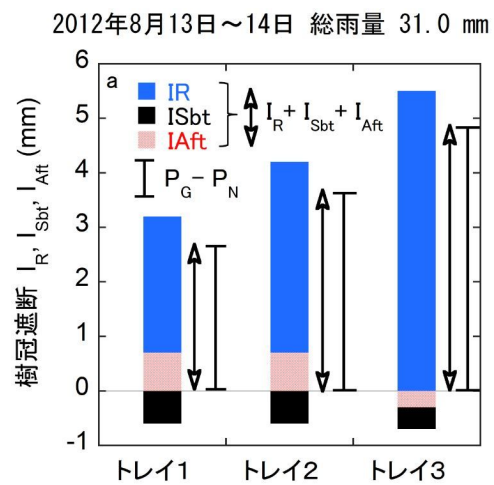


図5 トレイ毎の樹冠遮断成分

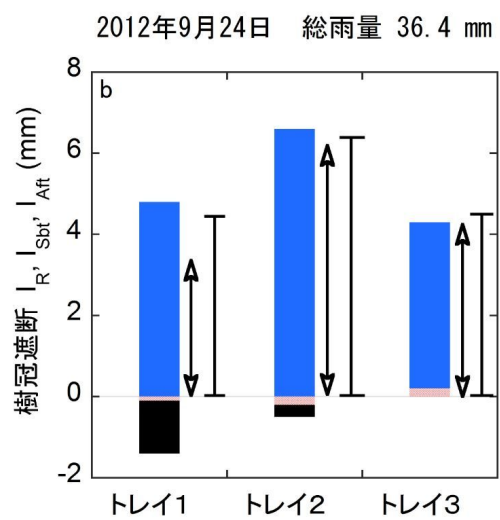


図6 トレイ毎の樹冠遮断成分

(2) 樹冠遮断は樹高と共に増加する傾向があった。実験Aではトレイ2と3の林分密度を41本/トレイとしたが、実験Bでは間伐を行って25本/トレイに減らした(表1)。その結果、トレイ2では樹冠遮断が増加し、トレイ3では減少した。間伐の後、樹冠遮断が増加する結果は新知見であるが、実際の森林でも同じ結果が得られたとの最新情報もある(小松光、2014年日本森林学会大会、私信)。この結果は森林施業・森林政策の視点から重要であり、2014年の日本森林学会大会のほか、2013年のヨーロッパ地球惑星科学連合大会でも議論となった。間伐により樹冠内の通気性が向上したことが原因のひとつと考えられるが、どのような条件が整った場合に起こる現象なのかは不明である。今後、さらにデータを収集して解析を進める必要がある。

(3) 実験Aからは31.0mmの降雨(8月13日~14日)、実験Bからは36.4mmの降雨(9月24日)を選び、 $P_G$ と $I_R$ の関係、及び $I_R$ 、 $I_{Sbt}$ 、 $I_{Aft}$ をトレイ別に示した(図3~図6)。樹冠遮断は樹高・林分密度に依存して異なった値を示し、図1、図2と同様に31.0mmの降雨(図3、図5)ではトレイ3の樹冠遮断が、36.4mmの降雨(図4、図6)ではトレイ2の樹冠遮断が、それぞれ最大となっている。図3、図4ではすべてのトレイにおいて $I_R$ が $P_G$ と比例関係にあり、既存の一降雨毎、または1時間毎の解析結果と同様の傾向を示した。

(4) 図5、図6の $I_R$ 、 $I_{Sbt}$ 、 $I_{Aft}$ は $P_G$ 、 $P_N$ 、 $S$ を用いて最小時間単位5分で算出している。 $P_N$ のうち、短時間では流れ切らずにトレイ等に残っている雨水による誤差と、単木による重量測定の代表性に起因する誤差が累積して負の $I_{Sbt}$ と $I_{Aft}$ が現れたと考えられる。図5、図6では $I_R$ 、 $I_{Sbt}$ 、及び $I_{Aft}$ の和の値を矢印で示し、 $P_G$ と $P_N$ の差から一降雨毎に算出した樹冠遮断の値をバーで示した。 $P_G$ と $P_N$ は2つの値の差であるため、誤差の累積が少なく精度が高いと考えられる。矢印とバーはほぼ一致していることから、一降雨毎のトータルの樹冠遮断( $I_R$ 、 $I_{Sbt}$ 、及び $I_{Aft}$ の和)の値は妥当であると考えられる。

(5) 図5、図6では樹冠遮断の3つの成分のうち $I_R$ が大部分を占めている。すなわち、数10mm以上のまとまった降雨の場合、樹冠遮断のほとんどが $I_R$ によってもたらされており、 $I_{Sbt}$ と $I_{Aft}$ はわずかであることが示された。3.(3)で述べたように、既存の研究では $I_R$ と $I_{Sbt}$ をひとまとめにした値を「降雨中蒸発」として扱っており、本研究のように高い時間分解能で $I_R$ と $I_{Sbt}$ を分離して評価した例はこれまでにない。 $I_R$ が $I_{Sbt}$ に比べてかなり大きいことは降雨自体が樹冠遮断の原動力になっていることを示しており、これまでの研究の中で樹冠遮断の飛沫蒸発説を支持するもっと

も有力な証拠である。飛沫蒸発説の証明を意識した論文は世界的にもわずかしかないが、この成果を踏まえて今後増加することが期待される。

(6) なお、微気象観測は行ったものの、当初目的とした飛沫蒸発量の推定は実行できなかった。しかし、少なくとも以下の点は明らかである。樹冠上で得られた微気象データを概観すると、降雨休止中の純放射と飽差は降雨中よりも明らかに大きい。このことは表面からの蒸発に関しては、熱収支的に $I_R$ よりも $I_{Sbt}$ が大きくなることを示している。それにも関わらず、4.(5)で述べたように $I_{Sbt}$ はわずかである。従って、降雨中蒸発( $I_R$ )のうち樹冠表面からの蒸発は $I_{Sbt}$ よりもさらに小さく、 $I_R$ のほとんどが飛沫蒸発であると考えるのが妥当である。

(7) 実験A、Bのそれぞれにおいては樹高・林分密度が一定であるにも関わらず、降雨ごとにトレイ相互の $P_G-I_R$ 回帰直線の傾きが異なる(図は省略)。これは降雨条件も含めた何らかの微気象条件の違いに起因する可能性がある。今後、さらに実験を重ねることで樹冠遮断の林分構造依存性(樹高、林分密度など)及び微気象条件との関係を明らかにする必要がある。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2件)

Murakami, S., Toba, T. (2013): Experimental study on canopy interception using artificial Christmas trees to evaluate evaporation during rainfall and the effects of tree height and thinning. Hydrological Research Letters, 7, 91-96. DOI: 10.3178/hrl.7.91 査読あり

村上茂樹 (2012): 樹冠遮断のメカニズムと森林の増雨効果、水利科学、324, 82-99. [http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/tkmc/member/Papers/Murakami\\_2012\\_Water\\_Sci.pdf](http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/tkmc/member/Papers/Murakami_2012_Water_Sci.pdf) 査読あり

[学会発表](計 4件)

村上茂樹・鳥羽妙 (2014): 飛沫蒸発説検証に向けた模擬木による樹冠遮断実験. 第125回日本森林学会大会 2014年3月29日、大宮ソニックシティ

村上茂樹・鳥羽妙 (2013): 模擬木を用いた樹冠遮断実験 - 樹高と林分密度の影響 -、水文・水資源学会 2013年度研究発表会、2013年9月27日、神戸大学

Murakami, S., Toba, T. (2013): Experimental study on determining factors of canopy interception using artificial

Christmas trees. EGU General Assembly 2013.  
2013年4月8日、ウィーン

村上茂樹・鳥羽妙(2012): 模擬木を用いた樹冠遮断実験 - 序報 -、水文・水資源学会2012年度研究発表会、2012年9月26日、広島市西区民文化センター

〔その他〕

ホームページ等

村上茂樹・鳥羽妙: 森林総合研究所 研究最前線『プラスチックのクリスマスツリーで解明した森林からの水の蒸発』、2013年12月24日掲載

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/saizensen/2013/20131224-02.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村上 茂樹 (MURAKAMI Shigeki)

独立行政法人森林総合研究所・気象環境研究領域・十日町試験地長

研究者番号: 80353879

### (3) 連携研究者

鳥羽 妙 (TOBA Tae)

尚絅学院大学・生活環境学科・講師

研究者番号: 70437086